

EVALUACIÓN DE 52 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE BOMBEO DE AGUA INSTALADOS EN MÉXICO A TRAVÉS DEL PERM

Alma D. Cota Espericueta

Universidad Autónoma de Cd. Juárez, Anillo Envoltente del Pronaf y Calle Estocolmo Cd. Juárez, Chihuahua, México,
Tel y Fax: (656)-688-1894, acota@uacj.mx

Robert E. Foster y Luis M. Gómez Rocha

New Mexico State University, MSC 3SOL, P.O. Box 30001, Las Cruces NM 88003-0001, USA
Tel: (505) 646-1049, Fax: (505) 646-1938, rfoster@nmsu.edu, martingo@nmsu.edu

Michael P. Ross, Charles J. Hanley y Vipin P. Gupta

Sandia National Laboratories, P.O.Box 5800 MS-0755c, Albuquerque, NM, USA
mpross@sandia.gov, cjhanle@sandia.gov, vpgupta@sandia.gov

Octavio Montúfar Avilez

Fideicomiso de Riesgo Compartido, San Luis Potosí 209, Col. Roma Sur, México City, México
sistemas2.firco@sagarpa.gob.mx

Arturo Romero Paredes Rubio

EcoTurismo y Nuevas Tecnologías, Av. Adolfo Ruíz Cortínez 3-19 Lomas de Atizapán 52977 Edo. de México, México
aromerop@mx.inter.net

RESUMEN

Entre 1994 y el 2000, se instalaron un total de 206 sistemas fotovoltaicos (SFVs) de bombeo de agua en México a través del Programa de Energía Renovable en México (PERM). El PERM es un programa patrocinado por la Agencia Estadounidense para el Desarrollo Internacional (United States Agency for the International Development o USAID) y el Departamento de Energía de los Estados Unidos (United States Department of Energy o USDOE) y ha sido coordinado por los Laboratorios Nacionales Sandia (Sandia National Laboratories o SNL). Después de diez años de implementación del PERM y la instalación de los 206 SFVs, se llevó a cabo una revisión en 52 de estos sistemas. La configuración típica de los SFVs de bombeo incluye un arreglo fotovoltaico (FV), una bomba, un controlador, un inversor (en caso de bomba de corriente alterna), y el equipo adecuado de protección contra sobre-corriente. Después de realizar las evaluaciones, se encontró que más de la mitad de los sistemas evaluados estaban funcionando adecuadamente y que más de 4/5 de los usuarios están satisfechos con su productividad, rentabilidad y confiabilidad. En este documento se presenta a detalle el análisis de los resultados encontrados a partir de la encuesta a propietarios o responsables y la evaluación técnica de los 52 sistemas de bombeo. Los sistemas encuestados se localizan en los estados de Baja California Sur, Chihuahua, Quintana Roo, y Sonora.

También se caracterizan las tecnologías que demostraron ser más confiables.

ABSTRACT

Between 1994 and 2000, 206 photovoltaic (PV) water pumping pilot systems were installed in Mexico as part of the Mexican Renewable Energy Program (MREP). MREP is a collaborative program sponsored by the U.S. Agency for International Development (USAID), U.S. Department of Energy (USDOE) that has been managed by Sandia National Laboratories (SNL). After ten years of MREP PV system implementation, a review was conducted of 52 installed systems. Typical system configurations include a PV array, pump, controller, inverter (only for ac pumps), and overcurrent protection. After performing the evaluations, it was found that over 50% of the surveyed systems were operating appropriately after as much as 10 years of operation, and that over 4/5 of the users are satisfied with their system's productivity, cost effectiveness, and reliability. This paper details the results analysis from 52 PV water pumping systems assessed in the Mexican states of Baja California Sur, Chihuahua, Quintana Roo, and Sonora and characterizes which technologies have proven most reliable.

Palabras claves: Bombeo, Fotovoltaico, Estudio Confiabilidad, Water Pumping, Reliability Assessment, Photovoltaic.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los SFVs de bombeo de agua instalados a través del PERM están localizados en áreas rurales en el norte de México. En estas áreas se sufre por temporadas largas de sequía; en consecuencia, es común hacer uso del agua subterránea para cubrir las necesidades diarias tanto para uso doméstico, como para riego o abrevadero de ganado. Los sistemas de bombeo de agua accionados por motores diesel o de gasolina han sido utilizados por décadas para satisfacer esta necesidad. No obstante, el costo y el transporte del combustible o el excesivo mantenimiento que demanda el motor hacen que estas tecnologías de bombeo resulten costosas para la gente de estas regiones. Una alternativa para disminuir el costo de operación de los sistemas convencionales es sustituirlos por SFVs. En muchos casos, éstos pueden ofrecer una opción menos costosa a lo largo del ciclo de vida útil. La distancia de los ranchos demandantes de energía a la red eléctrica de distribución varía desde uno hasta decenas de kilómetros. En la actualidad, el costo de la extensión de la red eléctrica es de aproximadamente 100,000 pesos (~\$9,000 dólares) por kilómetro y puede variar con las condiciones del terreno.

Una de las actividades principales del PERM entre 1994 y el 2000, fue la instalación de los 206 SFVs pilotos de bombeo. El PERM fue diseñado para ampliar el uso de las tecnologías de energía renovable y fomentar el desarrollo en la zona rural de México. Dicho programa fue puesto en marcha en 1992 por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (United States Department of Energy o USDOE) y la Agencia Estadounidense para el Desarrollo Internacional (United States Agency for the International Development o USAID) y es coordinado por los Laboratorios Nacionales Sandia (Sandia National Laboratories o SNL) (Richards *et. al.*, 1999; Hanley *et. al.*, 2001). Las experiencias previas a 1994, en México, referentes al bombeo de agua mediante energía FV fueron escasas o de baja confiabilidad. Por esta razón, se destinaron \$2.2 millones de dólares de los fondos de USAID para la compra de equipos y así reducir el supuesto riesgo tomado por los usuarios. Los fondos de USAID fueron apalancados por \$1.8 millones de dólares que aportaron los usuarios, y por un medio millón extra aportado en especie por agencias mexicanas como apoyo administrativo en la implementación de proyectos. Entre las agencias mexicanas se encuentran el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) y el Gobierno del Estado de Chihuahua (Richards *et. al.*, 1999). Con respecto a los fondos de USDOE, éstos fueron empleados para proveer de asistencia técnica a los colaboradores mexicanos. La asistencia técnica fue impartida por SNL, la Universidad Estatal de Nuevo México (New Mexico State University o NMSU), Ecoturismo y Nuevas Tecnologías (EyNT), Winrock Internacional (WI) y Enersol Associates. Aunque la implementación de proyectos FVs de bombeo de agua fue la aplicación de mayor enfoque durante el período de 1994 al 2000 para el PERM, también se realizaron algunos otros proyectos FVs de iluminación, comunicación, educación, producción de hielo, y refrigeración; así como también algunos proyectos eólicos (Romero Paredes *et. al.*, 2003).

A diez años de las primeras instalaciones de los SFVs de bombeo a través del PERM, se llevó a cabo una evaluación de 52 de dichos sistemas. El objetivo de la revisión fue determinar el estado actual de los sistemas, la confiabilidad de la tecnología; y por otro lado, su aceptación por parte de los usuarios después de poseerlos y operarlos por varios años. La

configuración típica de los sistemas instalados incluye un arreglo FV (~500 Wp en promedio), una bomba, un controlador, un inversor (en caso de bomba de corriente alterna), y elementos de protección de contra sobre-corriente. Todos los SFVs fueron instalados de conformidad con el código eléctrico estipulado en la Norma Oficial Mexicana (NOM).

EVALUACIÓN DE LOS SFVs DE BOMBEO

Las visitas a los 52 SFVs de bombeo se iniciaron en julio del 2003 y concluyeron en mayo del 2004. Durante estas visitas, se encuestó a los propietarios o responsables de la operación de los sistemas para determinar el nivel de aceptación. Además, se realizaron mediciones eléctricas e hidráulicas para verificar el estado operativo.

Encuesta al Propietario del SFV

La encuesta se constituyó por 44 preguntas, clasificadas en ocho secciones. En las preguntas de la sección (1) se detalló el estado general del sistema y la aceptación del usuario de acuerdo a la experiencia. Con esta información se determinó si el sistema funcionó de forma apropiada, inapropiada o no funcionaba, y el porqué de dicho estatus. Además, el usuario fue cuestionado en relación al rendimiento, la confiabilidad, y la rentabilidad de su SFV. En la sección (2), se recopiló la información sobre cualquier sistema convencional de bombeo instalado previamente. Tal información incluyó el tipo y el costo del combustible utilizado, la frecuencia del mantenimiento requerido, y el tiempo en años de la vida útil de un dicho sistema. Con las preguntas de la sección (3), se consideró la apreciación del usuario sobre la calidad del servicio prestado por los instaladores y los vendedores, considerando aspectos de instalación, capacitación al usuario, servicio postventa y mantenimiento. En las preguntas de la sección (4) se contempló el tipo de uso productivo del agua, el cual puede variar de aplicaciones domésticas, agrícolas, abrevadero de ganado o una combinación de éstos. Además, se encuestó sobre las ventajas de sustituir un sistema convencional de bombeo por un SFV. En la sección (5) se incluyó el impacto ambiental como resultado del uso de SFVs. En la sección (6) se consideró los aspectos de replica de proyectos FVs. De esta manera, se cuestionó sobre sistemas instalados en la región como resultado de la experiencia propia del entrevistado. En la sección (7) se preguntó a los usuarios respecto aspectos generales o lecciones aprendidas sobre la instalación del sistema, el costo, la operación, la asistencia técnica y el conocimiento técnico adquirido. Finalmente, en la sección (8) se investigó sobre la intención de comprar otro SFV, y las opciones de financiamiento para adquirirlo.

Evaluación Técnica

Los SFVs de bombeo fueron inspeccionados técnica y visualmente. Se tomaron mediciones eléctricas para determinar el funcionamiento y la productividad. Las mediciones eléctricas en el arreglo FV y el controlador/inversor fueron realizadas de manera simultánea a la determinación del flujo volumétrico de agua, así como también a la medición de la insolación. El cableado, los conectores, las cajas de conexión, los interruptores, y la tubería de agua fueron inspeccionados visualmente. Las evaluaciones técnicas fueron efectuadas por ingenieros de FIRCO, NMSU y EyNT como se muestra en la Fig. 1.

Tabla 1. Sistemas Fotovoltaicos de Bombeo de Agua Instalados en México a Través del PERM.

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	1994-2000
	Total por año							Total
kW instalados	1.8	2.5	16.9	34.4	26.4	16.6	2.6	101.1
Número de Sistemas	6	5	24	66	59	41	5	206
Beneficiados	482	242	1,511	2,705	3,009	1,400	37	9,389
	Promedio por año							Promedio
Tamaño del Sistema W_p	300	507	704	521	446	404	514	491
Dólares/Watt	\$22.01	\$22.87	\$18.96	\$19.06	\$19.81	\$22.49	\$14.77	\$19.98
Aportación del PERM	78.1%	86.5%	82.9%	63.1%	41.9%	36.4%	15.0%	57.6%
Aportación Mexicana	21.9%	13.5%	17.1%	36.9%	58.1%	63.6%	85.0%	42.5%



Fig. 1: Evaluación técnica del SFV de bombeo de agua en el Rancho Los Tepetates en Baja California Sur.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 presenta un resumen de los 206 SFVs de bombeo que fueron instalados a través del PERM en México. Un total a 9,389 personas fueron beneficiadas directamente con la instalación de 101 kW de energía FV. Durante los primeros tres años, el PERM aportó el 80% del costo total de los sistemas. Posteriormente, en 1996, cuando las contrapartes mexicanas se convencieron de la eficacia de la tecnología FV de bombeo, su disposición de pagar se incrementó gradualmente desde el 20% inicial hasta el 85%. Para el año 2000, el PERM sólo contribuyó con un 15%. Después de este año y hasta la fecha, FIRCO ha instalado más de 600 SFVs de bombeo bajo su programa de energías renovables especialmente diseñado para promover el desarrollo de la agricultura en México y el cual es patrocinado por del Banco Mundial/GEF

La Fig. 2 presenta el costo promedio por watt de los SFVs de bombeo instalados a través del PERM para cada Estado Mexicano y por año de instalación. La línea continua corresponde al costo promedio de los sistemas instalados en el estado de Chihuahua. Durante la introducción de la tecnología FV de bombeo, el costo promedio ascendía a 22 y 25 dólares por watt instalado en 1994 y 1995, respectivamente. Después de 1995, la disminución del costo promedio refleja la madurez alcanzada por el mercado. A finales de 1999, el costo promedio fue de 12 dólares por watt. El PERM instaló 40 sistemas en Chihuahua. Se encontraron resultados

similares en Baja California Sur donde también se realizaron 40 instalaciones. En otros Estados, el programa instaló una menor cantidad de proyectos de tal forma que el mercado no alcanzó la madurez suficiente y existió menor competencia de vendedores y distribuidores. La experiencia obtenida por el PERM muestra que los factores predominantes para alcanzar un mercado maduro incluyen la capacitación, el apoyo del Estado, la existencia de varios vendedores, la calidad de la instalación en conformidad con el código eléctrico, y las tecnologías empleadas.

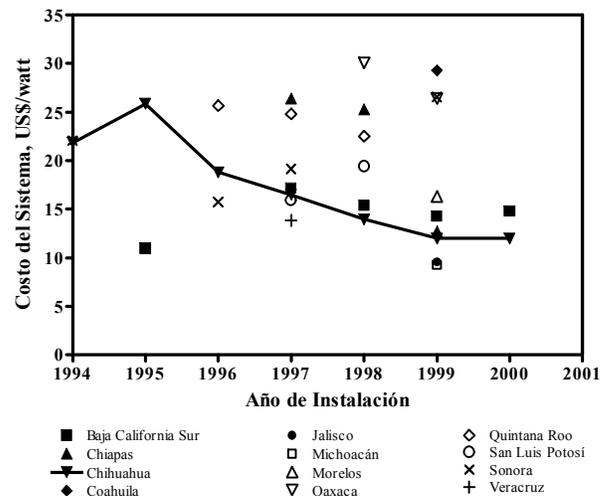


Fig. 2: Costo promedio de los SFVs de bombeo de agua por año de instalación y para los diferentes Estados Mexicanos.

La Fig. 3 presenta los resultados obtenidos mediante la conducción de las preguntas de la sección (2), la cual se refiere a los aspectos de productividad, rentabilidad y confiabilidad de los SFVs de bombeo de agua. En la gráfica se aprecia que los usuarios encuestados califican sus sistemas entre excelentes y buenos, en su mayoría. Con respecto a la productividad, el 47 % de los usuarios los clasificó como excelentes sistemas, el 45% opinó que tienen buena productividad, el 6% pensó que la cantidad de agua bombeada es adecuada, y el 2% no estuvo satisfecho con su

rendimiento. En relación al aspecto de la confiabilidad, el 49% de usuarios entrevistados consideró que son altamente confiables, el 35% los clasificó como confiables, el 14% indicó que tienen una confiabilidad adecuada, y el 2% no los consideró dignos de confiabilidad. Y finalmente, en términos de rentabilidad, el 55% de los usuarios coincidieron que sus SFVs de bombeo son altamente rentables, el 37% los consideró rentables, el 6% respondió a que son adecuados, y el 2% restante opinó que los SFVs no son rentables.

Entre las experiencias logradas mediante la visita a los sitios se encontró que algunos encuestados respondieron favorablemente a la tecnología FV de bombeo, aún cuando su sistema no se encontraba operando al momento de la evaluación. Por ejemplo, en el rancho San Miguel en Baja California Sur se presentó una falla en la bomba después de 7 años de operación. Aunque la bomba no estuvo funcionando al tiempo de la visita, los usuarios están satisfechos y consideran que los SFVs de bombeo son muy confiables con alta productividad; además de ahorrar tiempo y dinero.

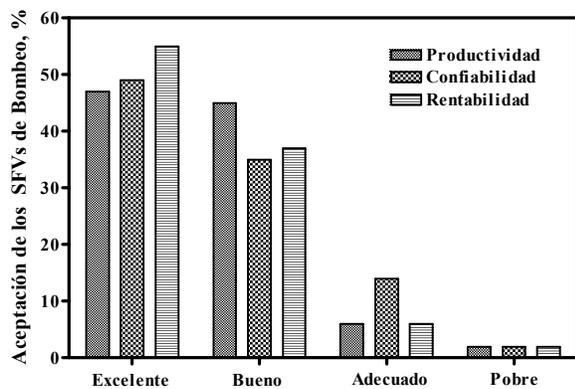


Fig. 3: Percepción de los usuarios encuestados respecto a la productividad, la confiabilidad y la rentabilidad de los SFVs de bombeo.

Antes de la instalación de los SFVs, el 72% de los ranchos visitados poseían sistemas convencionales de bombeo y utilizaban gasolina, diesel, motores de automóvil, e incluso uno utilizaba un sistema de tracción animal. Se encontró que el consumo típico de gasolina en un sistema de bombeo varió entre 5 y 10 litros por día en los estados de Baja California Sur, Chihuahua, y Sonora. En el estado de Quintana Roo, el consumo se estimó entre menos de 1 y 2.5 litros por día. El norte de México es una región árida y calurosa, por lo que la producción agrícola y el abrevadero de ganado requieren de mayores cantidades de agua. Los sistemas de gasolina también requieren de no menos de 3 litros de aceite lubricante por mes. Según respuestas de los usuarios, un sistema convencional de gasolina o de diesel tiene una vida útil de 4 a 5 años. Una vez que los sistemas

accionados por combustible fósil empiezan a fallar, éstos deben ser reparados de 2 a 3 veces por año. De acuerdo a los resultados obtenidos con las visitas a los sitios, se encontró en numerosos casos que las bombas solares excedieron el tiempo de vida útil de las bombas diesel o de gasolina. La gente que se encuentra satisfecha con la operación y la productividad de los SFVs de bombeo de agua, mencionó que los SFVs les ahorró dinero y tiempo debido a que no hay necesidad de comprar y transportar combustible, además requieren menos mantenimiento, y no se invierte tiempo en su operación.

La mayoría de los usuarios encuestados en Baja California Sur, Chihuahua y Sonora respondieron que el trabajo realizado por los vendedores y los instaladores se califica entre bueno y excelente en los aspectos de instalación, capacitación al usuario, servicio postventa y manual de operación y mantenimiento. Por el contrario, en el estado de Quintana Roo, estas respuestas se encontraron en su mayoría entre malo y adecuado.

Un ejemplo representativo y exitoso de los SFVs de bombeo de agua se encuentra en el rancho EL Jeromín en Chihuahua. Este sistema fue instalado en 1995 y cuenta con un arreglo FV ASE Americas de 848 W_p para bombear 12.5 $m^3/día$ a una carga dinámica total de 40 m con una bomba Grundfos. Al tiempo de la evaluación este sistema no había tenido un solo reemplazo en los ocho años de operación. Además se midió que la productividad se encontró muy similar a la demanda diseñada. No se ha tenido que reemplazar un sólo componente del sistema y por los últimos ocho años ha bombeado agua según lo diseñado. La recuperación total de la inversión del SFV se logró en 2.5 años. La Fig. 4 presenta la comparación del análisis de costo del ciclo de vida útil aplicada al SFV instalado en el rancho El Jeromín y el sistema convencional diesel empleado previamente. Desde la instalación del sistema solar, el dueño ha ahorrado más de 15,000 dólares en combustible y mantenimiento, y se proyecta que este SFV funcione adecuadamente por varios años más.

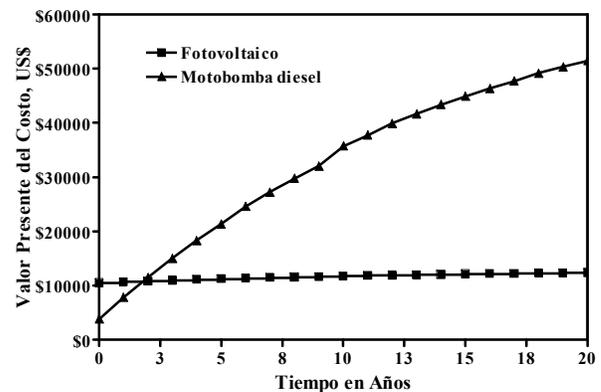
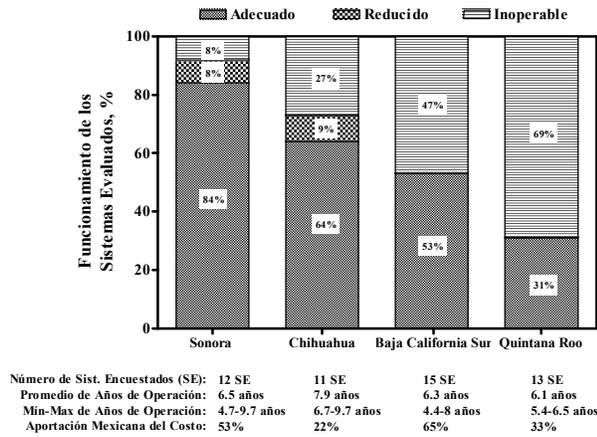


Fig. 4: Análisis económico de ciclo de vida aplicado al SFV de bombeo de agua en el rancho El Jeromín y al sistema diesel utilizado previamente.

El tiempo promedio que llevan instalados los SFVs evaluados en este estudio es de 6.5 años. El primer sistema fue instalado en 1994 en Estación Torres, Sonora. En este análisis se incluyó la evaluación de dicho sistema, cuyos componentes son un arreglo FV Solarex de 480 W_p y una bomba solar Grundfos SP3A-10. Desde la instalación hasta la fecha de la visita, éste no había presentado la necesidad de reemplazo de algún componente o de mantenimiento.

De los sistemas evaluados en Baja California Sur (15), Chihuahua (11), Morelos (1), Quintana Roo (13) y Sonora (12), 28 de los sistemas estuvieron funcionando a productividades similares a las de diseño (ocho con acciones de mantenimiento), tres estuvieron funcionando con menor capacidad de extracción de agua y 21 no estuvieron operando. De estos últimos, dos fueron desmantelados. La Fig. 5 muestra el funcionamiento de los sistemas evaluados por Estado, excluyendo para el estado de Morelos, en el cual sólo se revisó un sistema y estuvo operando adecuadamente a la fecha de la evaluación. Esta gráfica indica que Sonora alcanzó la tasa de éxito más alta (84%), seguida por Chihuahua (64%), Baja California Sur (53%), y finalmente Quintana Roo (31%). En Sonora y Chihuahua los resultados mostraron que entre el 8 y 9% de los sistemas evaluados funcionaban con menor capacidad de extracción de agua (una posible causa es la acumulación de arena en los impulsores de las bombas centrífugas sumergibles). Con respecto a los proyectos que no están en funcionamiento, la cifra más baja correspondió a Sonora (8%), seguido por Chihuahua (27%), Baja California Sur (47%), y finalmente Quintana Roo con la mayoría de las fallas (69%). Puesto que el bombeo de agua no es tan crítico en Quintana Roo como en los estados desérticos del norte, la reparación y disponibilidad del sistema no es tan crítica para la supervivencia del ganado. La mayoría de los SFVs que no estuvieron operando pueden ser reparados y puestos en servicio con el reemplazo del componente averiado que en su mayoría resultó ser el controlador o el inversor.



Número de Sist. Encuestados (SE):	12 SE	11 SE	15 SE	13 SE
Promedio de Años de Operación:	6.5 años	7.9 años	6.3 años	6.1 años
Mín-Max de Años de Operación:	4.7-9.7 años	6.7-9.7 años	4.4-8 años	5.4-6.5 años
Aportación Mexicana del Costo:	53%	22%	65%	33%

Fig. 5: Funcionamiento de los sistemas evaluados para los estados de Sonora, Chihuahua, Baja California Sur y Quintana Roo.

Las fallas de los SFVs de bombeo de agua se presentaron típicamente en los componentes o debido al servicio inadecuado prestado por el instalador. Como ya se mencionó, 21 sistemas no estuvieron operando. En éstos se documentaron 26 fallas, de las cuales ocho fueron reparados por los dueños. La Fig. 6 presenta el tipo de fallas que ocurrieron. La mayoría de éstas fueron ocasionadas por equipo defectuoso. El 54% de las fallas fue debido a problemas con las bombas; el 21% ocurrió en los controladores/inversores; el 17% estuvo relacionado con el estado del pozo (e.g. sequía o derrumbamiento); y el 8% de los sistemas fueron desmantelados por razones diversas, entre las que se pueden mencionar vandalismo o cambio de propietario.

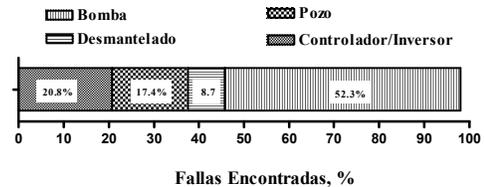


Fig. 6: Tipo de fallas encontradas en las 26 problemas detectados durante las 52 evaluaciones técnicas.

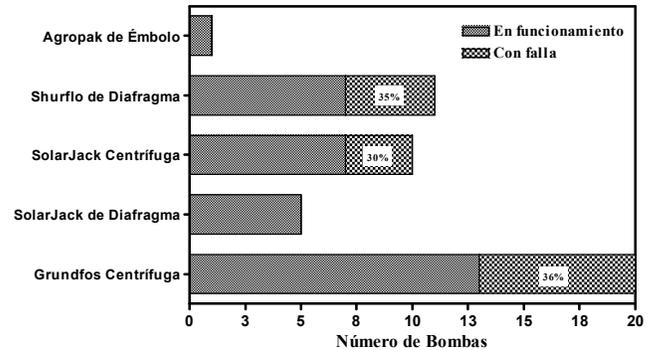


Fig. 7: Número de bombas evaluadas funcionando y con fallas.

Se encontró que los módulos fotovoltaicos son uno de los componentes más confiables de los SFVs de bombeo de agua. Las mediciones eléctricas en los arreglos demostraron que éstos se encontraron operando dentro de las características especificadas por el fabricante a la fecha de la evaluación. En ninguno de los 52 sistemas evaluados se detectó falla alguna de los módulos. Además de este componente, se observó que tampoco los sistemas de seguimiento solar, y el cableado presentaron problemas técnicos. Cinco de los 52 sistemas evaluados constaron de sistemas pasivos de seguimiento solar.

CONCLUSIONES

Los SFVs de bombeo de agua instalados en México bajo el PERM han demostrado su confiabilidad a largo plazo para su uso en esta aplicación. La tecnología FV ha probado ser una opción adecuada para satisfacer las necesidades de agua en la zona rural de México donde no se cuenta con la red de distribución eléctrica. La recuperación de la inversión inicial de los SFVs de bombeo de agua se ha promediado entre 5 y 6 años.

Con la evaluación de los 52 SFVs de bombeo llevada a cabo en Baja California Sur, Chihuahua, Morelos, Quintana Roo, y Sonora se encontró que la mayoría de sistemas se encontraban funcionando adecuadamente al tiempo de la visita. Cuando se presentaron problemas, éstos se debieron en su mayoría a bombas defectuosas, fallas de los controladores/inversores. Circunstancias ajenas como derrumbamientos o sequía de pozos también contribuyeron a las tipos de fallas encontrados durante las evaluaciones.

No se presentaron problemas con los módulos FVs entre los 52 SFVs de bombeo evaluados aún y cuando se emplearon diversas marcas y tipos de éstos.

Los resultados de la evaluación determinaron que más de 4/5 de los usuarios mexicanos de la zona rural están satisfechos con los SFVs de bombeo debido a su confiabilidad, rentabilidad y productividad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores extienden su agradecimiento a USDOE, USAID, SNL, y FIRCO por brindar su apoyo para realizar las encuestas y evaluaciones técnicas.

REFERENCIAS

Richards E.H., Hanley C., Foster R.E., Cisneros G., Rovero C.J., Büttner L., Ojinaga Santana L., , Graham S., Estrada Gasca C.A., Montufar O. (1999). Photovoltaics in Mexico: A Model for Increasing the Use of Renewable Energy Systems. *Advances in Solar Energy: An annual review of Research and Development*. Vol. 13, Energy, American Solar Energy Association, Boulder, Colorado.

Hanley C., Ross M., Montufar O., Rovero C., Foster R.E., and Ellis A. (2001). *Introducing Photovoltaics to New Markets Through Government Development Programs: The FIRCO Example in Mexico*. Photovoltaic Systems Symposium, SNL, DOE, Albuquerque, New Mexico.

Romero Paredes A., Foster R.E., Hanley C., Ross M. (2003). *Renewable Energy for Protected Areas of the Yucatán Peninsula*. SOLAR 2003, ASES, Austin, Texas.

Foster R.E., Cisneros G., and Hanley C.J. (1998). *Life-Cycle Cost Analysis for Photovoltaic Water Pumping Systems in Mexico*. *Proceedings of the 2nd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion... 15th European PV Solar Energy Conference, 27th US IEEE Photovoltaics Specialists Conference, 10th Asia/Pacific PV Science and Engineering Conference*. Vienna, Austria. Vol. III p. 3021-3025.

